

Optimasi Kapasitas Adsorpsi Gliserol Pada γ -Al₂O₃ DAN Efek Tegangan Permukaannya Terhadap Daya Serap Adsorpsinya Sebagai Kajian Awal Pemisahan Gliserol Pada Limbah Biodiesel

Yuniawan Hidayat, Sentot Budi Rahardjo, Syarif

Jurusan Kimia, FMIPA UNS, Jl. Ir Sutami 36 Surakarta

Abstrack

Research of glycerol adsorption which used γ -Al₂O₃ as adsorbent was carried out. Adsorption process was done in concentration variation of glycerol in comparison of glycerol:aquadest at 1:2, 1:3, 1:4 and 1:5 and also in temperature variation of glycerol adsorption at 20, 30, 40, 50 and 60 °C. The monitoring of surface tension by capillary pipe methode was performed in concentration variation of glycerol. The interactions between glycerol and γ - Al₂O₃ were conducted in batch methode. γ - Al₂O₃ was activated by physical method by heats until 400 °C in 1 hours. Characteristic of γ - Al₂O₃ was analyzed by XRD, test of adsorption ability was analyzed used acidity test which used NH₃ as adsorbate. Determination of glycerol amount was permeated in γ - Al₂O₃ used Gas Chromatography (GC).

The result showed that adsorption increase when variation of concentration rich in glycerol. At 30°C, maximum capacity of adsorption was found. Surface tension decreased by increasing adsorption temperature and it give indirect responsible to glycerol adsorption over γ - Al₂O₃.

Keywords: *adsorption, glycerol, γ - Al₂O₃.*

PENDAHULUAN

Gliserol merupakan suatu produk samping (by-product) cukup besar yang dihasilkan dari proses pembuatan biodiesel. Hampir 10% crude gliserol dihasilkan pada setiap proses pembuatan biodiesel. Pencucian gliserol yang terdapat pada biodiesel dengan menggunakan kuantitas air yang lebih banyak dengan rasio 1 : 3, 1 : 4, dan 1 : 5 dalam proses tersebut, merupakan suatu proses penting berkaitan dengan kualitas produk yang dihasilkan (Karaosmanoglu, et al., 1996).

Gliserol yang telah dipisahkan dari biodiesel nantinya dapat dikembangkan menjadi produk-produk turunannya yang dapat meningkatkan nilai tambah gliserol dan meningkatkan efisiensi proses produksi biodiesel. Cara pemisahan gliserol dapat dilakukan dengan cara destilasi,

tetapi cara ini dinilai kurang ekonomis. Suatu cara alternatif pemisahan gliserol adalah melalui proses adsorpsi menggunakan adsorben yang selektif.

Proses adsorpsi gliserol pada pembuatan biodiesel telah dilakukan dengan menggunakan beberapa macam adsorben, yaitu: karbon aktif, lempung mineral (tanah liat), zeolit alam, dan zeolit sintetis dimana karbon aktif memperlihatkan adsorpsi gliserol yang paling baik dibandingkan dengan adsorben lain yang diteliti (Fernando, S. dkk, 2009). Yukawa telah melaporkan adsorpsi fasa cair dari dari sistem gliserol-air pada sebuah karbon aktif dan lempung teraktifasi. Lebih jauh, Chinn dan King telah mempelajari adsorpsi dari senyawa dengan gugus -OH banyak (gliserol, glukosa dan sukrosa, dll.) pada sebuah karbon aktif dari suatu larutan.

Pohan dan Tjiptahadi (1987) menyatakan bahwa proses adsorpsi dapat dipengaruhi beberapa faktor, antara lain oleh konsentrasi adsorbat dan temperatur. Apabila konsentrasi adsorbat (gliserol) semakin bertambah, maka kemungkinan terjadi interaksi antara adsorben dengan adsorbat menjadi lebih besar, oleh karena itu memungkinkan proses adsorpsi berlangsung lebih baik. Disamping itu, kemampuan adsorpsi juga dapat dipengaruhi oleh adanya tegangan permukaan dari adsorbat dimana dengan menurunnya tegangan permukaan akan mengakibatkan proses adsorpsi cenderung meningkat (Osik, 1982).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Gliserin p. a. (Brataco), NH₃ p. a. (E. merk), γ -Alumina (E. merk), 2-Propanol p. a. (E. merk), Kertas saring, Akuades (Laboratorium Pusat MIPA UNS). Furnace Thermolyne 4800, X-Ray Diffractometer (XRD) Shimadzu 6000, Neraca analitik AND GF-300, Gas Chromatography (GC) HP 5890 series II.

Preparasi adsorben

Aktivasi terhadap γ -Alumina dilakukan dengan cara 10 g γ -Alumina dipanaskan dengan menggunakan furnace pada temperatur 400 °C selama 1 jam. Selanjutnya, dilakukan analisis menggunakan XRD terhadap γ -Alumina yang telah diaktivasi.

Penentuan keasaman dilakukan dengan metode gravimetri. Enam buah krus masing-masing berisi 3 gram γ -Alumina yang telah diaktivasi serta 3 gram γ -Alumina yang tidak diaktivasi (setiap krus berisi 1 gram γ -Alumina) dipanaskan dalam oven pada temperatur 110 °C selama 1 jam (Kawasaki, 2008). Selanjutnya, ditimbang hingga beratnya konstan kemudian dimasukkan dalam desikator yang telah divakum. Uap amonia (NH₃) dialirkan melalui selang menuju desikator

sehingga terjadi kontak antara uap amonia dengan γ -Alumina selama 24 jam. Setelah itu desikator dibuka selama 2 jam untuk membebaskan amonia yang tidak teradsorpsi ke udara dan γ -Alumina ditimbang secara teliti. Berat amonia yang teradsorpsi dapat dihitung dari selisih berat sebelum dan setelah proses adsorpsi.

Adsorpsi Gliserol oleh γ -Alumina

Gliserol dan akuades dicampur ke dalam gelas beker dengan rasio v/v gliserol : akuades 1 : 2, sehingga diperoleh volume total 30 mL dan disertai pengadukan menggunakan stirrer dan magnetic stirrer selama ± 1 jam. Kemudian dari 30 mL larutan gliserol yang diperoleh, diambil sebanyak 20 mL. Selanjutnya, dilakukan proses adsorpsi gliserol metode perendaman (batch) dengan cara 1 g γ -Alumina yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam gelas beker yang berisi 20 mL larutan gliserol pada temperatur 28 °C dan kemudian diaduk ± 18 jam. Dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring biasa dan diambil sebanyak 10 mL larutan hasil penyaringan. Kemudian ke dalam gelas beker tersebut ditambahkan larutan propanol dengan volume yang konstan sebanyak 5 mL dan diaduk selama ± 1 jam. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan Gas Chromatography (GC) HP 5890 series II dengan kondisi sebagai berikut: gas pembawa He, detektor Flame Ionization Detector (FID), suhu detektor 300°C, suhu injektor 280°C, kolom CBP5 25m. Langkah-langkah di atas juga dilakukan untuk variasi rasio v/v gliserol : akuades 1 : 3; 1 : 4; dan 1 : 5. Dari langkah tersebut diperoleh data konsentrasi adsorbat (rasio v/v gliserol : akuades) yang menghasilkan adsorpsi maksimum terhadap gliserol. Selanjutnya, konsentrasi adsorbat yang menghasilkan adsorpsi maksimum tersebut digunakan dalam proses adsorpsi gliserol menggunakan variasi temperatur dengan langkah yang sama seperti pada perlakuan variasi konsentrasi. Variasi temperatur yang digunakan pada

proses adsorpsi adalah 20°C, 30°C, 40°C, 50°C dan 60°C. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan Gas Chromatography (GC).

Jumlah alumina yang teradsorpsi, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$A = V/m (C_o - C_{eq})$$

Dimana V adalah volume (ml) dari larutan yang digunakan pada pengukuran, C_o dan C_{eq} adalah konsentrasi (g/100 ml) dari komponen pada keadaan awal larutan dan saat kesetimbangan adsorpsi, m adalah berat dari adsorben (g) (Kobayashi et al., 1989)

Pembuatan Kurva Standar Gliserol

Dibuat seri larutan gliserol dengan konsentrasi: 1; 2; 3; dan 4 M. Selanjutnya, ke dalam masing-masing larutan ditambahkan larutan propanol dengan volume yang konstan sebanyak 5 mL dan diaduk selama ± 1 jam. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan Gas Chromatography (GC) HP 5890 series II dengan kondisi sebagai berikut: gas pembawa He, detektor Flame Ionization Detector (FID), suhu detektor 300°C, suhu injektor 280°C, kolom CBP5 25m. Dari data yang diperoleh dibuat kurva hubungan antara intensitas (% area) dengan konsentrasi.

Penentuan Tegangan Permukaan

Mula-mula ditentukan terlebih dahulu nilai massa jenis larutan gliserol pada masing-masing variasi temperatur dengan metode pignometer. Dibuat larutan gliserol dengan rasio v/v gliserol : akuades 1 : 2, sehingga diperoleh volume total 30 mL. Pignometer kosong ditimbang dan

dicatat. Setelah itu, ke dalam pignometer kosong tersebut dimasukkan larutan gliserol pada temperatur 20°C dan ditimbang massanya. Sebelum proses tersebut dilakukan, terlebih dulu pignometer kosong serta pignometer berisi akuades pada temperatur 20°C ditimbang massanya (sebagai pembanding). Langkah-langkah di atas tersebut juga dilakukan untuk variasi temperatur larutan gliserol dan akuades: 30°C, 40°C, 50°C dan 60°C. Setelah diketahui massa jenis larutan gliserol pada masing-masing variasi temperatur, kemudian ditentukan nilai tegangan permukaannya dengan metode kenaikan kapiler. Dibuat larutan gliserol dengan rasio v/v gliserol : akuades 1 : 2, sehingga diperoleh volume total 30 mL pada temperatur 20°C. Selanjutnya, ke dalam larutan tersebut dimasukkan sebuah pipa kapiler dan diamati serta dicatat tinggi kenaikan larutan pada pipa kapiler. Sebelum proses tersebut dilakukan, terlebih dulu diamati dan dicatat tinggi kenaikan akuades dengan temperatur 20°C pada pipa kapiler (sebagai pembanding). Langkah-langkah di atas tersebut juga dilakukan untuk variasi temperatur larutan gliserol dan akuades: 30°C, 40°C 50°C, dan 60°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dengan menggunakan analisis XRD γ -Alumina baik dari sampel setelah proses aktivasi secara fisika maupun spektrum difraksi standar yang terdapat dalam file data JCPDS (Joint Committee Powder on Diffraction Standards) nomor 10-0425 berupa nilai d (jarak antar bidang atom dalam kristal) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai d Hasil Analisis XRD dari γ -Alumina

$d \gamma$ -Alumina setelah Aktivasi (Å)	$d \gamma$ -Alumina Standar (Å)
2,39	2,39
1,97	1,97
2,41	1,40

Berdasarkan hasil analisis XRD pada Tabel 2, terlihat bahwa dua puncak tertinggi dari sampel setelah aktivasi mempunyai nilai d yang sesuai data γ -Alumina standar, yaitu pada nilai $d = 2,39$ dan $1,97$ Å, sehingga senyawa yang dicirikan pada difraktogram sampel tersebut menunjukkan bahwa struktur γ -Alumina yang tidak

kerusakan setelah di aktivasi. Data tersebut juga bersesuaian dengan hasil XRD γ -Alumina oleh (Vieira dkk, 2008)

Hasil analisis uji keasaman dari sampel γ -Alumina yang tidak diaktivasi maupun γ -Alumina teraktivasi dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Hasil Analisis Uji Keasaman γ -Alumina

Sampel	Keasaman (mmol/g)
γ -Alumina tanpa aktivasi	0,664
γ -Alumina teraktivasi	2,819

Terlihat bahwa nilai keasaman γ -Alumina tanpa aktivasi sebesar 0,664 mmol/g dan γ -Alumina dengan aktivasi sebesar 2,819 mmol/g, menunjukkan bahwa pengaruh aktivasi secara fisika dengan pemanasan pada temperatur 400 oC meningkatkan keasaman dari γ -Alumina. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena pada adsorben γ -Alumina yang diaktivasi secara fisika pada temperatur 400°C selama 1 jam terjadi reduksi pengotor yang menutup pusat asam (baik situs asam Bronstead maupun asam Lewis) biasanya adalah air ($\pm 6\%$) dan Na_2O ($\pm 1\%$), sehingga akan meningkatkan situs-situs aktif. Dengan demikian maka diharapkan permukaan γ -Alumina menjadi lebih efektif menyerap basa amonia dan dapat meningkatkan keasaman serta kemampuan dalam mengadsorpsi gliserol diharapkan juga akan semakin meningkat.

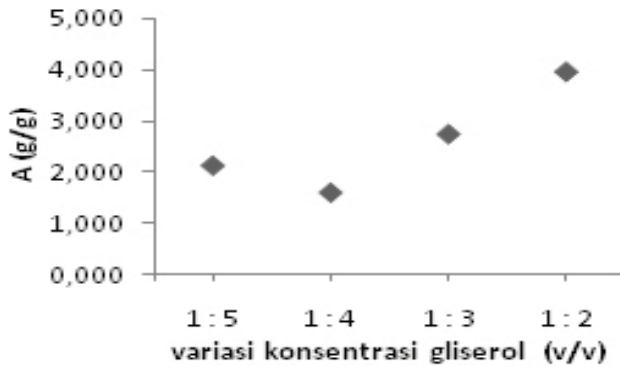
Analisis Adsorpsi Gliserol oleh γ -Alumina

Adsorpsi yang diperoleh dari analisis menggunakan GC dengan variasi konsentrasi adsorbat dapat dilihat pada

gambar 1.

Volume larutan gliserol pada proses adsorpsi adalah 20 mL. massa adsorben yang digunakan sebanyak 1 gram. maka dapat diperkirakan bahwa harga A sebanding dengan perubahan $(\text{Co} - \text{Ceq})$. Nilai $\Delta (\text{Co} - \text{Ceq})$ diasumsikan menunjukkan nilai konsentrasi gliserol dalam larutan gliserol-akuades (adsorbat).

Raj Singh et al. (1974) mengemukakan bahwa jumlah adsorbat yang terserap pada adsorben meningkat secara linier dengan bertambahnya konsentrasi. Berdasarkan hal tersebut, hasil yang diperoleh dalam penelitian ini bersesuaian dengan penelitian Singh yang menyatakan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi, maka semakin banyak molekul adsorbat dan adsorben yang saling berinteraksi dalam proses adsorpsi, sehingga menyebabkan adsorpsi semakin meningkat. Hasil tersebut juga bersesuaian dengan yang dikemukakan oleh Langmuir dan Freundlich, bahwa jumlah zat yang teradsorpsi akan sebanding dengan tekanan atau konsentrasi yang ditambahkan (Oscik, 1982).



Gambar 1. Kurva pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap kapasitas adsorpsi

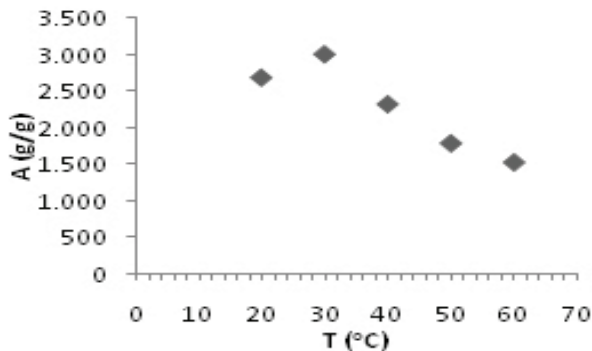
Proses terjadinya adsorpsi, kemungkinan disebabkan karena gliserol (memiliki tiga gugus $-OH$ yang bersifat polar) membentuk ikatan kimia dengan situs-situs aktif pada permukaan adsorben. Cohen et al. (1996) menyatakan bahwa alkohol kemisorpsi dapat terjadi melalui ikatan hidrogen dengan atom oksigen pada permukaan.

Pengaruh temperatur terhadap adsorpsi

Data adsorpsi yang diperoleh dari analisis menggunakan GC dengan variasi temperatur dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan data pada Gambar 6, diketahui bahwa nilai adsorpsi gliserol tertinggi pada variasi temperatur $30^{\circ}C$, kemudian akan mengalami penurunan adsorpsi secara linier dengan bertambahnya temperatur.

Hal ini disebabkan karena meningkatnya temperatur, kemungkinan akan menyebabkan akuades (H_2O) berdifusi lebih cepat ke dalam pori-pori adsorben serta berinteraksi dengan adsorben, sehingga akan terjadi kompetisi antara akuades dengan gliserol yang akan mengakibatkan penurunan jumlah adsorpsi.



Gambar 2. Grafik hubungan daya serap/kapasitas adsorpsi (A) dengan temperature pada proses adsorpsi gliserol

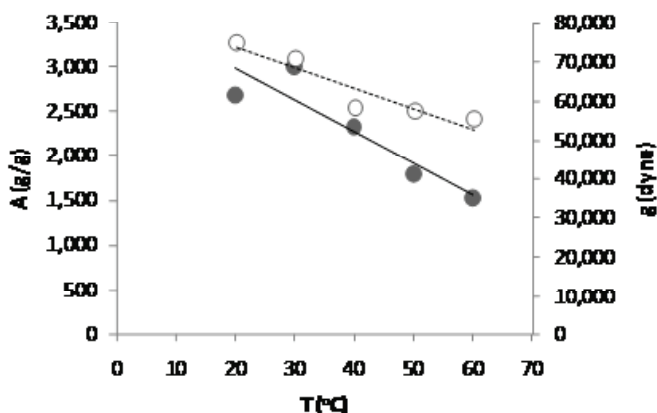
Disamping hal tersebut, juga dapat disebabkan karena dengan meningkatnya temperatur, maka proses desorpsi yang berlawanan dengan proses adsorpsi akan meningkat, sehingga terjadi penurunan jumlah adsorpsi, adsorbat yang teradsorpsi akan terlepas dari permukaan maupun pori-pori adsorben secara linier dengan meningkatnya temperatur. Evi Susantiani (2009) menyatakan pada adsorpsi fisik, adsorpsi semakin kecil dengan meningkatnya temperatur, hal ini terjadi karena kenaikan temperatur menyebabkan desorpsi semakin besar. Pekel dan Guven (2002) melaporkan penelitian tentang pengaruh temperatur terhadap proses adsorpsi poly (n- Butyl Methacrylate) oleh alumina, dimana proses adsorpsi cenderung menurun seiring dengan bertambahnya temperatur.

Pengaruh Temperatur terhadap Tegangan Permukaan dan adsorpsinya

Dari data yang diperoleh pada Gambar 3, dapat diketahui bahwa dengan semakin meningkatnya temperatur maka akan menurunkan tegangan permukaan. Tegangan permukaan pada kebanyakan cairan atau larutan akan menurun dengan meningkatnya temperatur dalam suatu bentuk yang mendekati linier (Adamson, 1990).

Berdasarkan data di atas, diketahui bahwa tegangan permukaan larutan gliserol menurun secara linier dengan meningkatnya temperatur. Adapun hal tersebut kemungkinan disebabkan karena larutan gliserol merupakan campuran antara gliserol dengan akuades pada rasio v/v 1 : 2, dimana berdasarkan literatur diketahui bahwa tegangan permukaan dari akuades lebih besar daripada tegangan permukaan gliserol. Oleh karena itu, akuades kemungkinan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tegangan permukaan larutan gliserol. Apabila larutan gliserol mengalami peningkatan temperatur dengan jalan pemanasan, maka dapat akan terjadi penurunan konsentrasi akuades dalam larutan gliserol karena kemungkinan mengalami penguapan, dimana hal tersebut akan menurunkan tegangan permukaan larutan gliserol secara keseluruhan.

Apabila tegangan permukaan menurun, maka proses adsorpsi akan semakin meningkat. Oleh karena itu berdasarkan data tegangan permukaan yang diperoleh, proses adsorpsi diharapkan akan mengalami peningkatan dengan menurunnya tegangan permukaan dimana pada kondisi itu temperatur semakin meningkat (Oscik, 1982)



Gambar 3. Hubungan temperature, tegangan permukaan dan adsorpsi. (Catatan : ● Adsorpsi (A) dan ○ tegangan permukaan (γ))

Akan tetapi, dalam penelitian ini proses adsorpsi cenderung menurun sebanding dengan turunnya tegangan permukaan. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya temperatur, energy kinetic aquades akan lebih besar disbanding gliserol, sehingga menyebabkan akuades berdifusi lebih cepat masuk ke dalam pori-pori adsorben. Akibatnya terjadi kompetisi antara akuades dengan gliserol yang mengakibatkan penurunan jumlah adsorpsi. Dengan demikian perubahan tegangan permukaan dalam hal ini tidak akibat kenaikan temperature tidak memberikan pengaruh terhadap adsorpsi gliserol dalam γ -Al₂O₃.

KESIMPULAN

Konsentrasi adsorbat yang menghasilkan adsorpsi maksimum dalam proses adsorpsi gliserol adalah pada rasio v/v (gliserol : akuades) 1 : 2 (4,541 M). Temperatur yang menghasilkan adsorpsi maksimum dalam proses adsorpsi gliserol adalah pada temperatur 30 °C. Penurunan tegangan permukaan tidak memberikan pengaruh positif terhadap daya serap γ -Al₂O₃ namun lebih dipengaruhi laju difusi aquades akibat naiknya temperatur.

DAFTAR PUSTAKA

Adamson, A. W. 1990. Physical Chemistry of Surfaces, Fifth edition. John Willey and Sons Inc. New York.

Alberty, R. A. 1997. Physical Chemistry. John Willey and Sons Inc. New York.

Atkins, P. W. 1990. Physical Chemistry. Oxford University Press. London.

Cohen, Y., J. Font, and R. P. Castro. 1996. On the Loss of Hydraulic Permeability in Ceramic Membranes. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 181, pp. 347–350.

Fernando, S., S. Adhikari, S. R. Musuku,

and S. Liu. 2009. Adsorption of Glycerol from Biodiesel Washwaters. *Environmental Technology*, Vol. 30, No. 5, pp. 505–510.

Gates, B. C., J. R. Katzer, and G. C. A. Schuit. 1979. *Chemistry of Catalytic Processes*. McGraw-Hill. New York.

Halvarsson, M. Alumina Crystal Structures. <http://www.freshpatents.com>. Diakses: 10/09/09, 11.44

Karaosmanoglu, F., K. B. Cigizoglu, M. Tuter, and S. Ertekin. 1996. Investigation of the Refining Step of Biodiesel Production. *Energy Fuels*, Vol. 10, No. 4, pp. 890–895.

Knothe, G., J. Van Gerpen, and J. Krahl. 2005. *The biodiesel handbook*. AOCS Publishing. USA.

Kobayashi, K., K. Araki, and Y. Imamura. 1989. *Bull Chem Soc Jpn.*, Vol. 62, pp. 3421–3425.

Kawasaki, N., F. Ogata, K. Takahashi, M. Kabayama, K. Kakehi, and S. Tanada. 2008. Relationship Between Anion Adsorption and Physicochemical Properties of Aluminum Oxide. *Journal of Health Science*, Vol. 54, No. 3, pp. 324–329.

MacZura, G., K. P. Goodboy, and J. J. Koenig. 1977. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol. 2, 3rd edn. Wiley-Interscience. New York.

Nelson, S. A. 2003. *Earth Materials: X-Ray Crystallography*. Tulane University.

Oscik, J. 1982. *Adsorption*. John Willey and Sons. New York.

Pekel, N., and O. Guven. 2002. Solvent, Temperature, and Concentration Effects

- on the Adsorption of Poly (n- Butyl Methacrylate) on Alumina from Solutions. *Turk J. Chem*, 26, pp. 221-227.
- Petrucci, R. H. 1985. *General Chemistry, Principles and Modern Applications*, Fourth edition. Collier Macmillan, Inc. England, Terjemahan: Kimia Dasar, Jilid 2, edisi keempat. Achmadi, S. 1987. Erlangga. Jakarta.
- Pohan, H. G., dan B. Tjiptahadi. 1987. Pembuatan Desain/Prototipe Alat Pembuatan Arang Aktif dan Studi Teknologi Ekonominya. BBPP IHP Proyek Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian IPB. Bogor.
- Ruppel, T., G. Hall, T. Huybrighs, and W. Goodman. 2008. Free and Total Glycerol in B100 Biodiesel by Gas Chromatography According to Methods EN 14105 and ASTM D6584, Application Note. <http://www.perkinelmer.com>. Diakses 11/09/09, 12.40.
- Singh, R., U. P. College, Varanasi, J. R. P. Gupta, and B. B. Prasad. 1974. Adsorption of Cationic Dyes by Activated Alumina. *Journal*, Vol. 41, A, No. 2, pp. 163.
- Skoog, D. A., F. J. Holler, and T. A. Nieman. 1998. *Principles of Instrumental Analysis*. Fifth Edition. Thomson Learning Inc. USA.
- Snyder, J., and B. F. Filipasic. 1983. The Analysis of Glycerol by Gas Chromatography. *JAOCs*, Vol. 60, No. 7, pp. 1269.
- Sukardjo. 1985. *Kimia Fisika*. Bina Aksara. Yogyakarta.
- Susantiani, Evi. 2009. Pengaruh Temperatur Larutan terhadap Adsorpsi Ion Cd^{2+} dengan Co-Ion Cu^{2+} dalam Berbagai Konsentrasi oleh Arang Sekam Padi dengan Metode Batch. Skripsi. FMIPA Universitas Negeri Malang. Malang.
- Tan, K. H. 1991. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Trisunaryanti, W. 1986. Penentuan Keasaman Padatan dan Pengaruh Temperatur Kalsinasi. Skripsi S-1. FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Vieira Coelho, A. C., G. A. Rocha, P. Souza Santos, H. Souza Santos, and P. K. Kiyohara. 2008. Specific Surface Area and Structure of Aluminas from Fibrillar Pseudoboehmite. *Revista Materia*, Vol. 13, No. 2, pp. 329-341.
- Wefers, K. and G. M. Bell. 1972. Oxides and Hydroxides of Aluminum. Technical Paper No. 19. Alcoa Research Laboratories, Aluminum Company of America. Pittsburgh.
- West, A. R. 1984. *Solid State Chemistry and Its Application*. John Wiley and Sons Inc. Chichester.
- Yang, Ralph, T. 2003. *Adsorbent: Fundamentals and Applications*. John Wiley and Sons Inc. New Jersey.
- Yori, J. C., S. A. D'Ippolito, C. L. Pieck, and C. R. Vera. 2007. Deglycerolization of Biodiesel Streams by Adsorption over Silica Beds. *Energy Fuels*, Vol. 21, pp. 347-353.